

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

**CARACTERISTICAS DINAMICAS Y RESISTENTES
DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS
MEMORIA**



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00674

CARACTERISTICAS DINAMICAS Y RESISTENTES DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS (MEMORIA)

El presente estudio ha sido realizado por la División de Geología aplicada a la Minería, del INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA en régimen de contratación con EBOGA GEOTECNICA, S.A.

1 9 8 1

CARACTERISTICAS DINAMICAS Y RESISTENTES
DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS

MEMORIA

CARACTERISTICAS DINAMICAS Y RESISTENTES

DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS.

1.- INTRODUCCION

2.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

2.1 Geología de San Cristobal de la Laguna

2.2 Geología del Puerto de la Cruz

2.3 Geología de la isla de San Miguel de la Palma

3.- CARACTERIZACION GEOMECANICA

3.1 Determinación de parámetros dinámicos

3.1.1 Realización de campañas sísmicas

3.1.2 Velocidad de propagación

3.1.3 Parámetros dinámicos

3.2 Zonificación geomecánica en San Cristobal de la Laguna

3.2.1 Características generales

3.2.2 Establecimiento de la zonificación

3.3 Zonificación geomecánica en el Puerto de la Cruz

3.3.1 Características generales

3.3.2 Establecimiento de la zonificación

4.- CONCLUSIONES

5.- BIBLIOGRAFIA

ANEJOS

- I FOTOS
- II RESULTADOS DE SISMICA
- III CARACTERIZACION GEOMECANICA

CARACTERISTICAS DINAMICAS Y RESISTENTES

DE LAS FORMACIONES VOLCANICAS.

1.- INTRODUCCION

Este proyecto está incluido dentro del Plan de Ordenación del Medio Natural (OMN) que está realizando el Instituto Geológico y Minero de España y su objetivo consiste en ampliar los conocimientos existentes sobre las características de las formaciones volcánicas con objeto de poder fundar en sólidas bases científicas los estudios que se realicen sobre el comportamiento del medio volcánico ante las sollicitaciones de tipo dinámico o estático que puedan sufrir cualquier tipo de edificación o estructura cimentada en estos materiales.

Este proyecto se ha realizado en los términos municipales de San Cristobal de la Laguna y Puerto de la Cruz en Tenerife y en la Isla de la Palma.

Como punto de partida se exponen las características geológicas generales de las formaciones volcánicas presentes en las islas de Tenerife y de San Miguel de la Palma para continuar con el estudio geológico detallado de los municipios

de San Cristobal de la Laguna y del Puerto de la Cruz. En el anejo I se incluye una amplia serie de fotografías que permite ilustrar gráficamente los resultados de la investigación realizada.

Dada la gran importancia que tiene el comportamiento dinámico de las estructuras volcánicas y su notable heterogeneidad, que hace poco útiles los medios convencionales de caracterización geomecánica, se ha realizado una amplia campaña de sismica superficial que ha permitido determinar las velocidades de propagación de los distintos medios y, a partir de estos datos, calcular sus características elásticas dinámicas. En el anejo II se incluyen los datos para el cálculo de estos parámetros.

A la vista de las observaciones geológicas realizadas, de los datos obtenidos en la caracterización efectuada y de los datos que se han recogido de la bibliografía existente se ha elaborado una zonificación del área estudiada, que se incluye en el anejo III, donde se han agrupado las zonas que presentan características geomecánicas homogéneas.

No obstante, dado el carácter siempre puntual de todas esas informaciones y de la manifiesta falta de homogeneidad en las formaciones volcánicas de las islas, pueden aparecer algunos puntos singulares que presenten una cierta heterogeneidad con respecto a las características de una zona.

2.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LAS ISLAS DE TENERIFE Y LA PALMA

Las islas del archipiélago Canario constituyen la parte emergida de una formación volcánica asociada con una zona de debilidad en el límite oceánico-continental de la placa afro-atlántica. Su génesis está incluida en una fase de la dinámica alpina que tuvo su máxima actividad en esta zona durante el Mioceno. Esta dinámica provocó una serie de fracturas y desplazamientos verticales en la corteza que favorecieron la generación de magmas y su emisión según directrices regionales bien definidas, que originaron el basamento volcánico submarino de las islas.

A finales del Mioceno la actividad decreció, concentrándose solo en algunos sectores de estas fracturas, por lo que las manifestaciones subaéreas constituyen edificios aislados que conservan en parte estructuras lineales. A partir de entonces las erupciones decrecieron en volúmen, predominando los edificios aislados de menor envergadura y aumentando la emisión de productos diferenciados (fonolitas y traquitas) de la serie basáltica alcalina. La abundancia de estos productos y de los diferenciados intermedios en los últimos tres millones de años constituye una de las principales características del volcanismo canario, cuya actividad se prolonga hasta nuestros días.

Los materiales volcánicos presentes provienen de la cristalización de los componentes químicos existentes en el magma, dando lugar a rocas masivas o fragmentarias, dependiendo del tipo de emisión, que está totalmente relacionado con la cantidad de productos volátiles.

Las rocas piroclásticas son los productos de las erupciones volcánicas explosivas y comprenden fragmentos de diferentes formas, tamaños y orígenes. A pesar de ello algunas acumulaciones de productos de expulsión volcánica son relativamente uniformes en textura y composición.

A los mayores fragmentos se les denomina bombas, en el caso de que estuvieran total o parcialmente fundidos al ser descargados. Muchos adoptan la forma de husillo o de lágrima durante su vuelo por el aire. Estos mismos tamaños de fragmentos reciben la denominación de bloques en el caso de haber sido descargados en forma totalmente sólida, siendo muchos de ellos fragmentos arrancados de la garganta o cono del volcán.

Los fragmentos expulsados con tamaño entre los 4 y 32 mm. se denominan lapillis, cualquiera que hayan sido las condiciones de descarga. Los más pequeños de todos, menores de 4 mm., son denominados cenizas o arenas volcánicas.

Las explosiones más violentas de una erupción volcánica tienen lugar cuando la creciente presión del gas logra finalmente romper una obstrucción de roca firme. Estas explosiones producen un agregado de bloques angulosos, que por compactación y cementación forman la brecha volcánica.

Así mismo, pueden originarse brechas volcánicas durante la solidificación de la parte superior de una corriente de lava en movimiento, ya que la costra sólida se rompe por el movimiento del líquido que tiene lugar debajo de ella. Los trozos de lava con escoria van rodando violentamente y mezclándose en pilas de brecha hasta que la masa ya no puede moverse más.

Si gran parte de la matriz de una brecha es de diámetro inferior a 4 mm., se denomina toba de brecha.

Los aglomerados volcánicos se forman por acumulación de bombas en los alrededores de los respiraderos volcánicos, siendo los fragmentos de subangulares a subredondeados. Como muchas bombas de los aglomerados han sido expulsadas en estado líquido, tienen con frecuencia formas torcidas y muchas veces estructura concéntrica.

En su textura tienden a ser vítreos, aunque en los aglomerados más antiguos han llegado a desvitrificarse.

Las capas de aglomerados alternan frecuentemente con mantos de arena volcánica, brecha y delgadas hojas de lava.

Los mayores fragmentos se acumulan cerca del respiradero por el cual fueron expulsados. Las tobas están mucho más extendidas en su distribución que los productos de expulsión más gruesos, y están formadas principalmente por cenizas o arenas volcánicas depositadas a una cierta distancia del respiradero.

Las tobas se presentan comunmente en capas bien definidas, cada una de las cuales representa una llovizna distinta de cenizas o un depósito arrastrado cuesta abajo por las lluvias que generalmente acompañan a los procesos de actividad volcánica. Presentándose en otras ocasiones, generalmente en el flanco de muchos volcanes, capas alternantes de tobas y lava, debido al derrame de lava subsiguiente a las lloviznas tobáceas.

Hay ocasiones en que las expulsiones piroclásticas pueden caer en cuencas en las que está sucediendo un proceso de sedimentación normal, en cuyo caso se mezclan intimamente con arcillas, limos, arenas y gravas. A los materiales mezclados de este modo se conocen como sedimentos de cenizas si no están compactados, y como rocas sedimentarias tobáceas si están litificados.

Las tobas se denominan comunmente de acuerdo con la naturaleza de los fragmentos reconocibles. Localmente se conocen como picón a las que presentan naturaleza más o menos basáltica y pumitas a las de composición tráquítica (Foto nº 1).

La naturaleza vítrea de las tobas hace que alteren rápidamente dando lugar a mantos superficiales de bentonita.

Las rocas masivas se forman por la solidificación de un magma, que puede tener diferente composición química y como consecuencia distintas propiedades físicas. Los magmas básicos poseen un contenido relativamente elevado de calcio, hierro y magnesio y son pobres en sílice, siendo de menor viscosidad y por lo tanto más móviles que los magmas ácidos, que son ricos en sílice y álcalis.

En general cerca de los centros de emisión las coladas son delgadas, para ir luego engrosándose a medida que le alejan de los mismos.

La extensión de las coladas depende tanto de la topografía que encuentra en su recorrido, como de la viscosidad de las mismas. Hay casos en que aparecen apilamientos cupuliformes de lava en zonas que existe muy poco recorrido, y que corresponden generalmente al caso de lavas viscosas. (Foto nº 2).

Las superficies, superior e inferior, de una colada presentan un aspecto marcadamente escoriáceo a causa de su más rápido enfriamiento. (Foto nº 3).

Son corrientes así mismo, la presencia de tubos y cuevas volcánicas originados por la circulación interior de lava líquida, una vez solidificadas las partes superior y lateral de la colada (Foto nº 4).

Entre dos coladas no inmediatas se reconoce generalmente una superficie rojiza llamada almagre, que corresponde al cocido por el paso de la colada superior sobre el suelo de alteración de la de más abajo (Foto nº 3).

Los componentes piroclásticos, muchas veces, dan lugar a acumulaciones en conos que pueden alcanzar pendientes muy fuertes; a la variedad que está constituida principalmente de cenizas se la llama cono de cenizas (Foto nº 5). Los conos compuestos, también llamados estratovolcanes, están formados por capas alternantes de lava y material piroclástico, siendo expulsada la mayor parte de la lava por los flancos en vez de por la cima.

2.1 GEOLOGIA DE SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA

El término municipal de San Cristobal de la Laguna se sitúa en una altiplanicie a 550 metros de altitud, coinci

dente con el eje de la cordillera dorsal, barrera natural donde se detienen los vientos. Siendo su climatología muy peculiar y con humedades muy altas.

Hacia el Norte se extiende en la zona de las Mercedes, que ocupa un valle colmatado de materiales vulcano-sedimentarios en un primitivo barranco enclavado en las estribaciones del macizo de Anaga, que fue cerrado a la altura de San Cristobal de la Laguna por coladas provenientes del campo volcánico de la zona de La Esperanza (montañas de: Carboneras, Giles, Marreros... etc.) que derramaron sus coladas, de la serie III, con direcciones Norte y Este.

Fuera de la parte Sur, ocupada por materiales de la serie III, tanto al Norte como al Este del municipio, las formaciones corresponden a las zonas montañosas del macizo de Anaga y por lo tanto con materiales pertenecientes a la serie I o Antigua.

Las arcillas transportadas alcanzan un considerable espesor con un máximo en las partes centrales, que se supone próximo a los 90 metros.

En toda la zona no cubierta por coladas de la serie III, hacia el Norte y parte Este (zonas de Mesa Mota y San Roque respectivamente), se encuentran materia

les de la serie I. Consistentes en su mayoría en coladas apiladas y mantos de material piroclástico (lapillis y escorias fundamentalmente). Estando también presente un elevado número de diques y pitones de naturaleza basáltica. (Fotos nº 6 y 7).

Tanto las coladas como los materiales piroclásticos y diques de esta serie, se encuentran en general muy alterados, con aparición de iddingsitización en los cristales de olivino.

Esta es una zona de relieve montañoso que jalona los flancos Norte y Noroeste del municipio, con los pies de ladera recubiertos de coluviones con una gran heterogeneidad de tamaños; consistentes en bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas. Siendo las arcillas transportadas las que reciben, en el Norte, los materiales de esta serie en la parte baja.

Las coladas de la serie III, provenientes de la parte sur, avanzaron pasando lo que es el núcleo urbano con dirección Norte.

Toda esta serie basáltica está salpicada hacia el Sur de conos volcánicos que hoy todavía conservan sus cráteres (montañas de: Pacho, Los Giles, Chacón y Carboneras). No apareciendo en esta zona ningún afloramiento

de materiales pertenecientes a la serie I.

Estas coladas basálticas son de potencia variable, pero por regla general no sobrepasan el metro de espesor, y van acompañadas de niveles escoriáceos que no son homogéneos, sino que varían de unos lugares a otros (Foto nº 8).

Son de destacar así mismo las pumitas que aparecen o intercaladas hacia la parte Este, entre las coladas más superiores de la serie, o bien en las faldas de los más importantes conos piroclásticos.

Los basaltos presentan a menudo textura porfídica, siendo los fenocristales de olivino y piroxeno.

Estos materiales de la serie III se encuentran hoy día recubiertos en amplias zonas bien por suelos transportados areno-arcillosos hacia el Norte, o bien por suelos residuales de alteración en la parte Sur.

Los suelos residuales son fundamentalmente arcillosos con unas granulometrías muy heterogéneas. Estos suelos provienen de la alteración "in situ" de piroclastos y escorias que alcanzan espesores variables según las zonas y llegando en algunos lugares hasta los 3 metros de potencia.

Los suelos transportados son suelos arcillo-arenosos con escasa presencia de granulometrías gruesas y presentan espesores que superan los 20 metros en las zonas centrales del valle. Ocasionalmente se encuentran intercalaciones de basalto, en general no superiores a los 2 metros.

2.1 GEOLOGIA DEL PUERTO DE LA CRUZ

El término municipal del Puerto de la Cruz se encuentra enclavado dentro de la fosa tectónica del valle de la Orotava. Teniendo esta la forma de una rampa o plano inclinado con la parte superior a unos 2000 metros de altitud sobre el nivel del mar y el borde o parte inferior terminando en una costa acantilada con cantiles que van de los 30 a 70 metros de altura.

Existen numerosos conos volcánicos en la parte superior o Sur del valle que efectuaron un cierre del mismo.

En la parte baja del valle, afectando a la zona del Puerto de la Cruz, se observan otros conos volcánicos, como el de la montaña de los Frailes y la montaña de la Horca, que siguen una clara línea de fracturación de dirección Este-Nordeste, que con sus coladas hicieron avan

zar la línea de costa unos cientos de metros y se encargaron de recubrir la superficie de coladas recientes.

En general, todos los conos están constituidos por piroclastos basálticos conservando su estructura en buen estado.

El término municipal del Puerto de la Cruz está limitado al Sur por la línea de conos que ya ha sido descrita, al Norte por el acantilado marino; al Este, casi al límite del casco urbano, está situado el barranco de Martianez y, por último, al Oeste se encuentra el barranco de S. Felipe.

En el caso más completo, un corte desde la base al techo de un acantilado presentará una base de basalto olivínico, siempre en contacto con el mar. Un posterior recubrimiento de coladas basálticas que se apoyan directamente sobre los anteriores basaltos o sobre una intercalación de sedimentos arcillo-arenosos, que a partir del barranco de Martianez hacia el Este van alcanzando un considerable espesor, que totalizan en algunos lugares potencias superiores a los 10 metros. Estas coladas suelen presentar una cierta disyunción columnar (Foto nº 9).

Siguiendo en la serie ascendente suelen aparecer unos sedimentos, con buena estratificación, de areniscas, arcillas y aluviones.

Los acantilados suelen estar coronados por unos potentes mantos traquíticos. Estos basaltos presentan textura porfídica holocristalina, con pequeños cristales de augita y plagioclasa en una pasta de listoncillos orientados de plagioclasas, piroxenos y opacos, a veces, con vacuolas rellenas de carbonatos.

Las múltiples coladas modernas, serie IV, de lava básica, provenientes de las montañas de la Horca, Taoro y los Frailes, que suelen ser precedidas en muchos lugares de emisiones piroclásticas fonolíticas, han constituido una costra pétrea en ocasiones de gran espesor, que ha alcanzado el mar al descolgarse desde lo alto del acantilado, ganándose unos cientos de metros en la zona del puerto.

La presencia de materiales enrojecidos, observada en numerosos lugares de esta zona, tanto piroclásticos como areno-arcillosos, es debida en el primer caso al fenómeno de oxidación y en el segundo al fenómeno de cocido por el paso de una colada superior.

El aspecto escoriáceo vacuolar de las coladas, tanto en la parte del techo como del muro, es debido al efecto de escape de gases así como al efecto de arrastre que ejerce el núcleo de la colada, que es el último en alcanzar la solidificación.

En el caso de coladas delgadas, el aspecto pre dominante escoriáceo es debido a la poca viscosidad de esas coladas, siendo predominantemente estas las procedentes de los conos más modernos.

Los términos pumíticos, en general, forman ca pas monoclinales de pocos metros de espesor, con colores blanco-amarillentos a rosados. Están compuestos por acumulación de materiales piroclásticos sólidos, tipo pómez, y con una granulometría variable desde tamaños de menos de 1 cm. hasta aproximadamente los 4 cm (Foto nº 1).

En los dos grandes barrancos existentes, de Martia nez y San Felipe, se encuentran en sus proximidades materiales de arrastre y deposición, típicos del carácter aluvial. En general estos depósitos consisten en conglomerados de cantos bastante bien rodados, de basalto y escorias, con algunos bloques intercalados y de matriz arcillo-areno sa. Estos depósitos son sobre todo muy importantes en las inmediaciones del barranco de San Felipe.

2.3 GEOLOGIA DE LA ISLA DE SAN MIGUEL DE LA PALMA

Esta isla presenta semejantes características al resto de las islas del Archipiélago Canario, tanto en lo referente a la presencia de las emisiones de las difere

rentes fases volcánicas, así como de los materiales que existen en las mismas.

Las sucesivas fases de emisión volcánica independientes se han ido superponiendo, presentando evidentes discordancias erosivas en el contacto entre las distintas series emitidas.

El zócalo o roca basal aflora en la zona central o núcleo de la depresión volcánica de la Caldera de Taburiente, y lo forman rocas compactas de tipo subvolcánico, como gabros y peridotitas, con texturas granudas o microcristalinas, atravesadas por chimeneas y diques que se entre cruzan entre sí.

Por encima del complejo basal se encuentran rocas volcánicas de emisión submarina, de composición basáltica rica en sodio y con estructuras de pillow-lavas o de almohadilla. Los espacios intersticiales dejados entre las almohadillas están rellenos comunmente con sedimentos del fondo del mar o con fragmentos desprendidos de las mismas almohadillas.

Los aglomerados volcánicos se asientan directamente sobre el complejo de rocas basales. Estos aglomerados se presentan de forma compacta y engloban, dentro de una matriz vítrea, fragmentos poligénicos de granulometría variada.

Los aglomerados se alteran facilmente dando suelos limo-arcillosos con abundantes cantos.

Afloran en la cabecera, profundamente excavada, de algunos barrancos del Norte (Siete Fuentes, Gallegos, Cordero, etc ...) y en las laderas de la Caldera de Taburiente y barranco de las Angustias.

La serie basáltica Antigua yace sobre los anterioros niveles, y se compone de coladas basálticas columnares alternando con piroclastos soldados y escorias (Foto nº 10).

La potencia de las capas es notablemente irregular en la serie, variando incluso a lo largo de un mismo nivel.

La estructura general que presenta es de coladas subhorizontales con ligero buzamiento hacia la costa.

Los afloramientos de esta serie se distribuyen por toda la mitad Norte de la isla y su zona central (Foto nº 11).

Posterior a las emisiones de la serie basáltica Antigua han existido emisiones de lava ácida a lo largo de fisuras dando lugar a diques y pitones que forman

resaltes topográficos aislados, por su resistencia a la erosión, no siendo muy abundantes en la isla.

La serie basáltica III recubre la mitad Sur de la isla por medio de coladas superpuestas subhorizontales en las que alternan basaltos columnares porosos, de 2 a 10 m. de potencia, con escorias soldadas y niveles de piroclastos que han quedado fosilizados al ser recubiertos por nuevas coladas. (Fotos n^{os} 12 y 13).

Son característicos de la serie los conos volcánicos de lapilli negruzco a rojizo, que toma tonos pardos al ser alterado, presentando alrededor de sus bases mantos de lava escoriácea (malpaises).

La serie Reciente se presenta ampliamente distribuída en el Sur de la isla con morfología de típicos conos de cín^{der} y lapillis bien conservados, a cuyo pie se extienden malpaises o bien amplias zonas recubiertas de bombas y piroclastos de proyección aérea.

Las coladas de esta serie han provocado avances de la línea de costa, siendo testigos excepcionales de este volcanismo histórico los volcanes de San Antonio, San Juan y el reciente Teneguía.

Los sedimentos son los encargados de recubrir los materiales volcánicos en ciertas zonas, en general es casas, de la isla. Los más importantes son los depósitos detríticos de pie de monte, los aluviales y los suelos residuales.

Los suelos residuales son fundamentalmente arcillosos, con una proporción variable de cantos o gravas. Encontrándose localizados en las zonas más húmedas y planas que son las ideales para la alteración "in situ" de escorias y piroclastos superficiales.

Los sedimentos coluviales forman, en varios puntos de la isla, amplios abanicos en posición más o menos paralela a la costa.

Es de resaltar la estabilidad de grandes taludes verticales en basalto fisurado, debido al fenómeno de "dilatancia". Esta estabilidad se explica por la gran resistencia de los materiales basálticos, ya que los pequeños picos o rugosidades originadas son los encargados de aguantar el peso de las masas, con frecuencia grandes, situadas por encima de las incipientes fisuraciones (Foto nº 14).

3.- CARACTERIZACION GEOMECANICA

En base a los materiales presentes, a su disposición y de acuerdo con la estimación de las propiedades dinámicas de los mismos, se ha efectuado la zonificación geomecánica de los municipios de San Cristóbal de la Laguna y del Puerto de la Cruz.

3.1. DETERMINACION DE PARAMETROS DINAMICOS

Las constantes elásticas dinámicas son los parámetros que se han utilizado para caracterizar los distintos materiales de cara al comportamiento de los mismos frente a la influencia de las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en estos medios.

Como estos parámetros son función de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, es de vital importancia el conocerlas con el fin de poder caracterizar adecuadamente los diferentes materiales que se presentan en estos terrenos.

3.1.1 Realización de campañas sísmicas

Se ha realizado una campaña sísmica superficial, disparando pequeñas cargas explosivas, casi siempre de goma 2 EC, y registrando los tiempos de primeras

llegadas a geófonos emplazados alrededor del punto de disparo.

En el Anejo n° 2 se adjuntan los planos de situación y emplazamiento de captadores junto con los cuadros de las características de los disparos efectuados y los registros sísmicos obtenidos en cada uno de los puntos de instrumentación.

Las señales provenientes de los geófonos son enviadas a una unidad central de registro, capaz de almacenar hasta 10 señales, excitando unos galvanómetros ópticos de espejo, sobre los que incide un haz de luz ultravioleta, que a su vez impresiona un papel sensible que se mueve a velocidad constante, previamente establecida, produciendo el registro gráfico de las señales.

Las velocidades del papel de registro han sido de 300 mm/seg ó 1000 mm/seg; que son las más convenientes a la hora de leer las diferencias entre los tiempos de llegada de cada señal sísmica.

Por medio de un dispositivo, pinza amperimétrica, que detecta el paso de la corriente de iniciación de la pega, se ha almacenado en uno de los canales de registro (C-8) el momento de ignición del explosivo o tiempo cero de la señal que produce la explosión.

3.1.2 Velocidades de propagación

Los tiempos de llegada desde el momento de disparo hasta el lugar de emplazamiento de cada geófono se han leído en los registros que se adjuntan en el Anejo n° 2.

En algunos casos se ha calculado la velocidad de propagación entre dos geófonos sensiblemente alineados, a partir de la diferencia de tiempo existente entre el comienzo de las señales registradas en cada uno de ellos. (Anejo n° 2).

Dada la gran heterogeneidad que presentan los materiales volcánicos, tanto en profundidad como en superficie, incluso en áreas muy reducidas, las velocidades de propagación más representativas son en muchos casos el resultado del valor medio obtenido durante el tránsito de las ondas sísmicas por los diferentes materiales que encuentran en su recorrido.

Los resultados de los ensayos realizados en el término municipal de San Cristobal de la Laguna se encuentran recogidos en el cuadro n° 1 y corresponden a la velocidad de propagación de las ondas P en basalto homogéneo alterado en superficie.

En este cuadro aparecen las velocidades de propagación desde el punto de disparo hasta cada captador para los seis disparos estudiados.

La velocidad media, sin considerar las velocidades registradas en el captador C-4, debido a su situación en una zona con un recubrimiento arcilloso de alteración, que da una velocidad anormalmente más baja, es de 3766 m/seg con un coeficiente de variación del 10%, estando comprendidas las velocidades de propagación en este tipo de basalto entre 3000 m/seg y 4500 m/seg.

En el cuadro nº 2 se reflejan los ensayos realizados en el término municipal del Puerto de la Cruz que corresponden a las velocidades de propagación obtenidas en un medio caracterizado por la presencia de escorias con mayor o menor proporción de basalto. (foto nº 15).

Las velocidades de propagación se han medido entre pares de geófonos o captadores, sensiblemente alineados, para cada uno de los siete disparos estudiados.

La velocidad media de las ondas P o primarias, a través de un medio de basalto y escorias, es decir

CUADRO N° 1

CAPTADORES DISPAROS	C							
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	
D-4	3600	3825	3915	3455	2043	4488	3760	
D-7	3103	3548	3535	3000	2216	4395	3396	
D-8	3636	3880	3538	3288	2526	4333	3711	
D-9	3150	3898	3956	3262	2843	4332	4275	
D-10	3500	3666	4000	3294	2981	4560	4250	
D-11	3491	3600	4000	3692	2967		3826	
\bar{V}_{ci}	3413	3736	3824	3332	2596	4422	3870	$\bar{V} = 3766$
σ_{n-1}	229,6	150	225	229	400	100	338	$\sigma_{n-1} = 389$
$\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{V}_{ci}} \times 100$	6,7	4,0	5,8	6,8	15,4	2,2	8,7	$\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{V}} \times 100 = 10$

VELOCIDADES DE PROPAGACION EN m/seg PARA BASALTO HOMOGENEO
ALTERADO SUPERFICIALMENTE

CUADRO N° 2

PARES DE CAPTADORES DISPAROS	I						II	
	C ₁ -C ₇	C ₂ -C ₄	C ₂ -C ₃	C ₂ -C ₅	C ₂ -C ₆	C ₃ -C ₇	C ₄ -C ₅	C ₄ -C ₆
D-2	1682	1600	766		864	1050		664
D-3	1520	1206	826	862	666	837	681	542
D-4	1338	1623	988	625	725	850	547	553
D-5	1490	1371	975	665	843	851	584	691
D-6	1524	1215	740	657	815	848	589	692
D-7			1092					
D-8			1050				594	
\bar{V}_{ci-cj}	1500	1403	919	702	782	887	599	628
σ_{n-1}	104	201	141	108	84	91	49	75
$\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{V}_{ci-cj}} \times 100$	6,9	14,3	15,3	15,3	10,7	10,2	8,2	11,9
\bar{V}	1451						613	
σ_{n-1}	152						62	
$\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{V}} \times 100$	10,5						10,1	

VELOCIDADES DE PROPAGACION EN m/seg EN BASALTO HOMOGENEO CON PROPORCION VARIABLE DE ESCORIAS (I) Y ESCORIAS (II)

con caminos semejantes por cada tipo de material, caso $C_1 - C_7$ y $C_2 - C_4$, es de 1450 m/seg con un coeficiente de variación del 10,5%.

En el caso de predominio absoluto de escorias basálticas, la velocidad de propagación de las ondas P a través de ellas, casos $C_4 - C_5$ y $C_4 - C_6$, ha sido de 613 m/seg con un coeficiente de variación del 10,1%.

Por lo tanto y a la vista de los resultados anteriormente comentados, se pueden estimar las siguientes velocidades de propagación de las ondas primarias a través de los siguientes terrenos tipo:

- Basalto homogéneo y compacto (no alterado)	> 4500 m/seg
- Basalto homogéneo alterado superficialmente	3000-4500 m/seg
- Basalto homogéneo con algunas intercalaciones escoriáceas ...	2000-3000 m/seg
- Basalto homogéneo con igual proporción de escoria basáltica	1000-2000 m/seg
- Escorias basálticas	500-1000 m/seg

3.1.3 Parámetros dinámicos

Una vez obtenidas las velocidades de propagación para las ondas longitudinales se han calculado los valores de los módulos de elasticidad correspondientes a los materiales basálticos y escoriáceos.

En el caso del basalto ensayado, con un peso específico $\rho = 2,85 \text{ gr/cm}^3$ y un coeficiente de Poisson $\mu = 0,18$, se han calculado los intervalos de los valores correspondientes a la velocidad transversal de las ondas elásticas y al módulo de elasticidad empleando las ecuaciones que proporciona la teoría de la elasticidad

Así tenemos que:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}} = \sqrt{\frac{2(1-0,18)}{1-2 \cdot 0,18}} = 1,60 \quad \text{y}$$

$$E = \frac{V_p^2 \rho (1+\mu) (1-2\mu)}{1-\mu} \quad ;$$

Para $V_p = 3000 \text{ m/seg}$:

$$V_s = 1875 \text{ m/seg} \quad \text{y}$$

$$E = \frac{3000^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 \cdot 2,85 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{K}_p}{\text{m}^3}\right)}{9,80 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} \cdot \frac{(1+0,18)(1-2 \cdot 0,18)}{1 - 0,18} =$$

$$= 2410498010 \text{ K}_p/\text{m}^2 = 241050 \text{ K}_p/\text{cm}^2$$

Para $V_p = 4500 \text{ m/seg}$:

$$V_s = 2.812 \text{ m/seg} \quad \text{y}$$

$$E = \frac{4500^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 \cdot 2,85 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{K}_p}{\text{m}^3}\right)}{9,80 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right)} \cdot \frac{(1+0,18)(1-2 \cdot 0,18)}{1 - 0,18} =$$

$$= 5423620523 \text{ K}_p/\text{m}^2 = 542362 \text{ K}_p/\text{cm}^2$$

Para el caso de los materiales escoriáceos ensayados, con un peso específico $\rho = 1,2 \text{ gr/cm}$ y tomando como coeficiente de Poisson $\mu = 0,25$, se han calculado también los intervalos de variación de la velocidad de las ondas transversales y del módulo de elasticidad siguiendo los mismos principios, con lo cual obtenemos:

Con $V_p = 500 \text{ m/seg}$:

$$V_s = 288 \text{ m/seg} \quad \text{y}$$

$$E = \frac{500^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{Kp}}{\text{m}^3}\right)}{9,80 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right)} \cdot \frac{(1+0,25)(1-2 \cdot 0,25)}{1 - 0,25} =$$

$$= 25509183 \text{ Kp/m}^2 = 2551 \text{ Kp/cm}^2$$

y para $V_p = 1000 \text{ m/seg}$:

$$V_s = 557 \text{ m/seg} \quad \text{y}$$

$$E = \frac{1000^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{Kp}}{\text{m}^3}\right)}{9,80 \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right)} \cdot \frac{(1+0,25)(1-2 \cdot 0,25)}{1 - 0,25} =$$

$$= 102036734 \text{ Kp/m}^2 = 10204 \text{ Kp/cm}^2$$

3.2. ZONIFICACION GEOMECANICA EN SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA

Para llevar a cabo esta zonificación se ha utilizado toda la información disponible sobre velocidades de propagación, cortes geotécnicos y geoeléctricos, sondeos, calicatas y observaciones visuales en la zona del estudio.

El área zonificada se extiende hacia el Norte hasta la montaña de Mesa Mota, estando flanqueada hacia el Este

por las Montañas de San Roque y el Pico de la Abonera.

Hacia el Noroeste está limitada por las de la Bandera y la Atalaya; en el Sur, algo desplazado hacia el Oeste, está la zona de Los Rodeos en donde se encuentra enclavado el antiguo aeropuerto.

La autopista bordea el casco urbano desde la zona Sur hasta la zona Oeste, siguiendo la dirección hacia la Orotava.

3.2.1 Características generales

Es de resaltar que sólo la información proveniente de sondeos eléctricos ha sido la única que nos ha dado conocimientos a profundidades mayores de 10 metros. El resto se refiere a información superficial o de profundidad nunca superior a los 10 metros.

En esta zona son escasas y de poco espesor las áreas rellenadas artificialmente.

Es de señalar también la falta de homogeneidad en los terrenos, inclusive en las arcillas transportadas, que frecuentemente incluyen cantos y gravas basá

ticas e incluso intercalaciones basálticas y escoriáceas.

En esta zonificación sólo se han diferenciado dos clases de materiales arcillosos, agrupapando los diferentes grupos existentes entre esas dos clases, debido al semejante comportamiento en las propiedades elásticas de los mismos.

La zonificación realizada refleja una terminología que es acorde con la terminología local. Así el llamado "risco pelinegro" corresponde a las coladas potentes antiguas o a alguna de las actuales en tramos gruesos. El "risco" equivale a las coladas basálticas finas, correspondiendo la denominación "picón" a los piroclastos basálticos de pequeño tamaño (lapilli) y "pomez" a los de composición traquítica (pumitas). La "tosca" es el término usado para definir las tobas pumíticas y piroclastos alterados.

De forma aún más local existe el término de "volcán" para definir las escorias basálticas y el de "mazapé" para las arcillas residuales o transportadas.

Dado que la zonificación efectuada tiene como fin el establecer zonas de igual comportamiento ante el fenómeno de la transmisión de ondas elásticas produ

cidas por vibraciones, la zonificación definida será tanto más precisa cuanto mayor sea la dimensión de las medidas de parámetros geomecánicos que se efectuen en esas zonas.

3.2.2 Establecimiento de la zonificación

A partir de los trabajos realizados y de la información recogida se han definido las siguientes áreas de zonificación geomecánica.

- I.- Coladas de la serie III con ocasionales recubrimientos arcillosos de poca potencis.
- II.- Arcillas transportadas sobre coladas de basaltos y escorias de la serie III
- III.- Arcillas residuales sobre coladas de basaltos y escórias de la serie III
- IV.- Arcillas transportadas sobre piroclastos de la serie III
- IV'. - Arcillas transportadas sobre piroclastos de la serie I

En el plano nº 5 del Anejo III se encuentra reflejada la situación de las distintas zonas diferenciadas.

la zona I ocupa prácticamente todo el nivel del casco urbano, en donde se encuentra la casi totalidad de las edificaciones más antiguas.

Esta zona representa un área cerrada de forma irregular que se extiende al Norte desde la plaza del 18 de Julio hasta la calle de Viana a través de la calle Anchieta. Cruza la avenida de Calvo Sotelo hacia la plaza del Padre Anchieta para seguir por la avenida de la Candelaria.

Esta zona está cubierta por alternancias de basaltos y escorias de la serie reciente con disposición horizontal a subhorizontal. Las coladas tienen potencia variable, pero en general no pasan de 1 metro de espesor.

Tanto escorias como coladas tienen los contactos superior e inferior muy irregulares y sinuosos, dando rara vez un límite planar.

La presencia de ciertos recubrimientos arcillosos es debida a la rápida alteración superficial de las escorias, dando suelos de tipo arcilloso. Siendo en otros

lugares los rellenos artificiales los que ocultan las coladas y escorias.

El área II ocupa una gran extensión tanto hacia el Norte y Oeste del área anterior, así como una estrecha franja al Este de la misma.

Hacia el Norte sigue la calle Madre y Agua atravesando la carretera de Tejina y el camino de las Mercedes, prolongándose hacia el Rincón.

Esta zona corresponde a la parte llana de la Laguna y parte baja del valle de las Mercedes.

Los materiales son arcillas transportadas limo-arenosas con algunos cantos, recubriendo coladas de basalto y escórias de la serie III, con espesores medios de 8 a 10 metros.

el área III abarca toda la parte más al Sur de San Cristóbal de la Laguna y se extiende desde el barrio del Rosario hasta la zona de los Rodeos.

Los materiales de esta zona son arcillas residuales arenosas con algunos cantos de basalto y lapillis más o menos alterados, alcanzando algunas veces hasta

3 metros de potencia y proceden de la alteración "in situ" de escorias superficiales y piroclastos.

Los materiales recubiertos por esas arcillas residuales son coladas basálticas y escorias pertenecientes a la serie III.

Dentro de la zona existen esporádicos afloramientos de las coladas basálticas sin ningún tipo de recubrimiento, siendo estos afloramientos generalmente lineales y de pequeña extensión.

El área IV se encuentra enclavada en la zona Norte del término municipal de San Cristóbal de la Laguna y ocupa la zona del valle de las Mercedes.

En esta zona las arcillas transportadas recubren piroclastos de la serie III. Más hacia el Norte y lindando con la zona anterior esta el área IV', en donde las arcillas residuales recubren piroclastos de la serie I.

Los piroclastos se encuentran muy soldados y algunas veces enrojecidos por fenómenos de oxidación.

Las arcillas son arenosas con inclusiones de lapillis, existiendo en ocasiones intercalaciones de coladas

das de basaltos escoriáceos que no pasan de 2 metros de espesor.

Los espesores de recubrimiento en esta zona son muy considerables, estimándose según los cortes geoelectricos espesores próximos a los 90 metros en la zona norte hacia el centro del valle.

3.3. ZONIFICACION GEOMECANICA EN EL PUERTO DE LA CRUZ

Para llevar a cabo esta zonificación se ha utilizado toda la información disponible, junto con el reconocimiento de cortes geológicos en los lugares accesibles (acantilados, barrancos, desmontes ...) la información puntual de diferentes obras realizadas junto con el comportamiento y disposición de los diferentes materiales de cara a la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, dentro del término municipal del Puerto de la Cruz.

3.3.1 Características generales

Los diferentes reconocimientos realizados han sido efectuados a profundidad variable, pero en general no pasando de los 20 metros.

Así mismo son de resaltar, hoy día las numerosas zonas rellenas a lo largo del tiempo de forma artificial, tanto por exigencias urbanísticas como de cultivos en terrazas, muy extendidas en la zona por la gran superficie dedicada a las plantaciones bananeras. Algunas de estas zonas rellenas artificialmente son muy difíciles de diferenciar de visu, de las rellenas no artificialmente.

Mayor dificultad presenta el reconocimiento de los diferentes frentes y límites laterales de las distintas coladas emitidas, debido a que estas se encuentran sepultadas por las emisiones más recientes.

3.3.2 Establecimiento de la zonificación

En la zonificación realizada se ha empleado la terminología ya mencionada anteriormente, respecto a los diferentes materiales, que se corresponde con la utilizada localmente.

A partir de todos los datos obtenidos se ha definido la zonificación siguiente en el término municipal del Puerto de la Cruz:

- I.- Coladas de basalto escoriáceo de la serie reciente sobre basalto olivínico.
- I'.- Misma formación anterior recubriendo a sedimentos de costa.
- II.- Piroclastos sobre coladas de basalto y escorias.
- III.- Potentes coladas traquíticas sobre sedimentos areno-arcillosos y aluviales.
- IV.- Tobas pumíticas, alteradas a arcillas en el techo, sobre coladas de basalto y escorias.
- V.- Depósitos de rambla sobre coladas recientes.
- VI.- Coladas de la serie reciente.

En el plano nº 6 del Anejo III se encuentra reflejada la situación de las distintas zonas diferenciadas.

La zona I ocupa prácticamente todo el núcleo del casco urbano, en donde se encuentran la mayor parte de las edificaciones más antiguas.

El área ocupada por la zona se extiende desde la costa hasta prácticamente la carretera general.

Al Oeste termina con el comienzo de la zona influenciada por el barranco de San Felipe y al Este con la zona de influencia del barranco de Martianez.

Esta zona ha sido invadida recientemente por coladas históricas provenientes de la montaña de Taoro, dando lugar a un recubrimiento de los sedimentos de costa, formados en general por arenas basálticas con algunas gravas y bloque y provocando un avance de la línea de costa, como mínimo desde la zona I', lo cual representa cerca de los 500 metros.

No obstante existen áreas dentro de esta zona en donde se encuentran así mismo materiales piroclásticos, sobre todo en las partes más próximas al límite de la zona II, debido a la proximidad de la montaña de Taoro.

En la parte baja de la zona I' existe una zona de relleno artificial, arcillo-limosa con cantos y bloques, que se extiende desde la calle Mequinez hasta la costa.

La zona II se extiende por encima de la carretera general, llegando hacia el Este hasta la zona de

influencia del barranco de Martianez y al Oeste hasta la zona del polígono de San Felipe.

Esta es una zona de piroclastos (cono volcánico) que a veces se presentan soldados, sobre coladas basálticas. En la parte baja de la zona es bastante frecuente encontrar canales o lechos de lava en superficie.

La zona III se extiende en el área de influencia del barranco de Martianez.

Es una zona de coladas recientes, con abundantes tubos volcánicos, sobre sedimentos areno-arcillosos y aluviales con alguna intercalación de bloques. Predomina en general la granulometría fina aunque dentro de ella se presentan también bloques de arrastre.

Se observan también aislados niveles conglomeráticos de cantos basálticos bastante bien rodados y de matriz areno-arcillosa, depositados probablemente en épocas de fuerte escorrentía.

Estos materiales se presentan en general bastante bien estratificados en posición más o menos horizontal.

La zona IV es la situada más al Este del casco urbano y se extiende hasta la zona de influencia del barranco de Martianez.

El área que encierra la zona está ocupada por tobas pumíticas y piroclástica, alteradas en arcillas en la parte del techo, sobre coladas basálticas.

La capa arcillosa de alteración alcanza los mayores espesores en la zona próxima al jardín Botánico.

La zona V está situada en el área de influencia del barranco de San Felipe, llegando hacia el Este hasta una vez pasada la avenida de Melchor Luz. Hacia el Oeste ocupa una menor extensión y menor potencia de sedimentos aluviales.

Esta zona corresponde a la parte baja del barranco de San Felipe y está constituida por depósitos de barranco sobre coladas basálticas de límites algo escoriáceos.

Los sedimentos son en general de granulometría más gruesa que los del barranco de Martianez. En su mayor parte son conglomerados de cantos basálticos bien rodados con matriz areno arcillosa.

Dentro de esta zona existe en el margen Oeste del barranco, hacia la parte baja de la desembocadura, un área en que los rellenos conglomeráticos descansan sobre una toba de piroclastos y pumitas algo alteradas.

Por encima de esta zona V, las inmediaciones del barranco, e incluso su fondo, fueron alcanzados por coladas basálticas que recubrieron los depósitos conglomeráticos.

Finalmente la zona VI se extiende en el área Oeste, una vez pasado el barranco de San Felipe.

Es una zona de coladas recientes con abundantes niveles escoriáceos que se presentan con gran alteración superficial.

En la parte más baja de esta zona también ha existido una ganancia de terreno al mar, debido a que las coladas más recientes irrumpieron hasta la misma línea de costa. siendo muy patente este fenómeno en toda la zona de Punta Brava.

4.- CONCLUSIONES

Los trabajos geológicos de campo realizados en San Cristóbal de la Laguna, el Puerto de la Cruz y la isla de San Miguel de la Palma han permitido caracterizar las estructuras que definen un comportamiento diferenciado de estos terrenos ante el fenómeno de la propagación de las vibraciones producidas por voladuras.

Se han tenido en cuenta las zonas con apreciables recubrimientos, casi siempre arcillosos, de cara al marcado efecto de los mismos en la transmisión de vibraciones.

La campaña de investigación sísmica superficial ha permitido cuantificar los parámetros elásticos dinámicos de los materiales volcánicos que con más frecuencia son objeto de los impactos dinámicos producidos por las voladuras.

Hay que tener muy en cuenta que el comportamiento de los medios volcánicos ante la transmisión de vibraciones depende fundamentalmente de los materiales presentes, caracterizados por sus propiedades mineralógicas y geomecánicas. Por ello los efectos producidos por el tránsito de vibraciones en estos materiales están muy condicionados por el tipo, potencia y alternancia de materiales que se encuentran en su recorrido, razón por la cual la disposición en profundidad y superficie de las formaciones tiene una importancia preponderante.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y apoyándose en la información existente de trabajos anteriores se han elaborado sendos mapas de caracterización geomecánica de San Cristobal de la Laguna y del Puerto de la Cruz que han permitido diferenciar las áreas en las que los terrenos ofrecen una respuesta homogénea ante la llegada de un tren de vibraciones producido por una voladura. Se han determinado criterios simples

y concisos de identificación de tal forma que con una simple observación visual acompañada de medidas elementales se pueda asegurar en cada caso que un terreno determinado corresponde efectivamente con la zonificación efectuada.

5.- BIBLIOGRAFIA

- COELLO, J. ;
Tesis doctoral sobre geología del valle de la Orotava
Universidad de La Laguna.

 - I.G.M.E.
Mapa geológico de Santa Cruz de Tenerife
Hoja nº 1.104 - 1.105, Madrid 1978

 - I.G.M.E.
Mapa geotécnico general de Santa Cruz de la Palma
Hoja nº 89. Madrid.

 - I.G.M.E.
Mapa Geotécnico de ordenación urbana de Santa Cruz de
Tenerife, Madrid.
-